

*И. В. КОМПАНИЕЦ*, ассистент, УИПА, г. Харьков

*А. М. ШКИЛЬКО*, канд. физ.-мат. наук, профессор, УИПА, г. Харьков

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

Обоснован выбор основных параметров измерителя контактной разности потенциалов, которые подлежат определению при проведении метрологического обслуживания, а также приведены методы и средства для их определения.

Обґрунтовано вибір основних параметрів вимірювача контактної різниці потенціалів, які підлягають визначенню при проведенні метрологічного обслуговування, а також наведено методи та засоби для їх визначення.

Selection of principal parameters of contact potential difference meter subject to determining during metrological servicing has been substantiated and associated determination methods and facilities are provided.

**Введение.** Одним из сравнительно новых, интенсивно развивающихся в последнее время методов исследования и неразрушающего контроля является метод контактной разности потенциалов (КРП), сущность которого заключается в регистрации КРП, образованной между двумя электродами, находящимися в электрическом контакте. В настоящее время существует несколько подходов к измерению КРП, отличающихся способом детектирования зарядов с поверхности. Наибольшее распространение получили конденсаторные методы – это метод динамического конденсатора и конденсаторный метод с вращающимся электродом. Наиболее функциональным и относительно простым в реализации является метод динамического конденсатора, который находит все большее применение для испытаний, контроля, диагностики и прогнозирования состояния поверхности различных материалов изделий и объектов. Измеритель КРП (ИКРП) с динамическим конденсатором является бесконтактным, неразрушающим и применяется в широком диапазоне температур и давлений остаточных газов для оценки физико-химического состояния поверхности при трении, износе, механо-коррозионных воздействиях, для контроля качества сварки и др [1-3].

Необходимой составляющей для использования ИКРП, как средства измерений поверхностного потенциала или РВЭ, является наличие методик измерения, а также поверки и калибровки. На сегодняшний день такие методики отсутствуют. Кроме того, большинство известных измерителей представляют собой лишь средство регистрации относительного изменения КРП. Измерение же абсолютных значений является более трудоемкой и сложной задачей. Для практической реализации калибровки и поверки ИКРП необходимо обеспечить соблюдение следующих условий:

- иметь физическую и математическую модели ИКРП как средство измерения;

- иметь необходимую методику поверки ИКРП;
- иметь необходимые средства метрологического обслуживания.

**Цель работы.** В настоящей работе поставлена задача определения основных параметров ИКРП, требующих метрологического контроля.

**Выбор параметров, требующих метрологического контроля.** Для обеспечения единства и требуемой точности измерений необходимо установить основные параметры измерительного блока, требующие метрологического контроля. Исходной величиной схемы динамического конденсатора является его чувствительность  $U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{К}}-U_{\text{КОМ}}$ , которая связана с параметрами ИКРП, при условии синусоидальных колебаний зонда следующим уравнением [4]

$$U_{\text{ВЫХ}} = I(t)R = \frac{R(U_{\text{К}} - U_{\text{КОМ}})SL\omega}{d_0 [1 + L \sin(\omega t)]^2} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cos(\omega t), \quad (1)$$

где  $d_0$  – межэлектродное расстояние в состоянии покоя;  $\omega$  – циклическая частота;  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$  – электрическая постоянная;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды;  $S$  – рабочая площадь зонда;  $R$  – нагрузочное сопротивление;  $U_{\text{К}}$  – измеряемая КРП;  $U_{\text{КОМ}}$  – компенсирующее напряжение;  $L$  – коэффициент модуляции равный отношению амплитуды колебаний зонда к междуэлектродному расстоянию  $A/d_0$ ;  $U_{\text{ВЫХ}}$  – выходное напряжение схемы динамического конденсатора.

В свою очередь, искомое значение КРП связано с работой выхода электрона (РВЭ) зонда  $\Phi_1$  и исследуемого образца  $\Phi_2$ , согласно физической модели динамического конденсатора следующим выражением [3]

$$I(t) = - \frac{(\Phi_1 - \Phi_2)\omega\varepsilon\varepsilon_0SA \cos(\omega t)}{e(d_0 + A \sin(\omega t))^2}. \quad (2)$$

Исходя из уравнений (1) и (2) видно, что важными параметрами, определяющими чувствительность ИКРП является межэлектродное расстояние  $d_0$  и коэффициент модуляции  $L$ . Параметрами, определяющими точность и разрешающую способность ИКРП является РВЭ рабочей поверхности зонда  $\Phi_1$  и рабочая площадь зонда  $S$  соответственно.

Для использования ИКРП как средства измерения поверхностного потенциала, необходимым условием является обеспечение стабильности и знание численного значения РВЭ рабочей поверхности зонда. Обеспечение стабильности, как правило, достигается путем тщательного изготовления рабочей поверхности зонда. Первоначально на поверхности пластин удаляются загрязнения, трещины, царапины и другие неоднородности поверхности путем полировки до получения микронеровностей, не превышающих 10 мкм (14 класс чистоты). Затем поверхность зонда покрывается слоем химически малоактивного материала, такого как золото, платина, тантал, родий. В первое время после изготовления дрейф поверхностного потенциала может быть значительным и сильно колебаться во времени. Поэтому изготовленные зонды проходят соответствующие режимы термической стабилизации поверхности, пока показания поверхностного потенциала не стабилизируются и не станут

воспроизводимыми. Обычно, после старения считается удовлетворительным дрейф поверхностного потенциала при нормальных атмосферных условиях в диапазоне 200-300 мкВ.

Калибровка осуществляется прямым измерением относительно эталона, значение РВЭ которого известно с достаточно большой точностью при заданных условиях. В качестве эталона можно использовать тонкую плёнку золота, полученную конденсацией золота на полированную поверхность. Для определения РВЭ эталона можно использовать методы термо- или фотоэлектронной эмиссии.

Кроме того, данная методика калибровки позволяет исключить систематические ошибки, вызванные влиянием паразитных емкостей, механическими шумами и электромагнитными наводками от схемы электронного блока.

На основании уравнения (1) и уравнений, приведенных в работе [4] можно сделать важное определение относительно модуляции, постоянной времени  $RC$ , а так же коэффициента преобразования, определяемого отношением эффективного значения переменного сигнала на конденсаторе к постоянному напряжению на нем. Для увеличения коэффициента преобразования, который пропорционален коэффициенту модуляции  $L$ , соотношение  $1/(\omega RC_0)$  должно быть мало, где  $C_0$  – статическая емкость динамического конденсатора, определяемая как

$$C_0 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d_0}. \quad (3)$$

Максимальный уровень коэффициента модуляции динамического конденсатора получают в случае, если вибратор настроен на резонанс механической системы. Для определения оптимального значения используется звуковой генератор и осциллограф, где по максимальной амплитуде при постоянных значениях напряжения возбуждения определяют оптимальный уровень коэффициента модуляции [5].

Ключевой характеристикой ИКРП является его разрешающая способность, которая зависит от формы и рабочей площади зонда. Очевидно, что чем меньше площадь зонда, тем лучше разрешающая способность; вместе с тем для сохранения чувствительности ИКРП необходимо уменьшить междуэлектродное расстояние  $d_0$  и сохранять его постоянным на протяжении всего процесса исследования поверхности объекта. В работе [4] показано, что для ИКРП необходимо соблюдать следующую зависимость между диаметром зонда  $d_3$  и междуэлектродным расстоянием  $d_0$

$$d_0 \leq 0,1 d_3. \quad (4)$$

Для оценки погрешностей измерений ИКРП может быть использована стандартная методика, описанная в ДСТУ ГОСТ 8.009:2008.

### **Выводы**

Приведен перечень основных параметров, нуждающихся в определении при проведении метрологического обслуживания, к которым относится

чувствительность ИКРП, межэлектродное расстояние  $d_0$ , коэффициент модуляции  $L$ , РВЭ рабочей поверхности зонда  $\Phi_1$  и рабочая площадь зонда  $S$ .

Для обеспечения достоверности при идентификации и интерпретации результатов измерений и диагностики необходимо нормировать параметры ИКРП, отрабатывать основные положения и методы поверки.

Необходимым условием совершенствования метода КРП является развитие метрологического обеспечения, что и будет предметом наших дальнейших исследований.

**Список литературы:** 1. Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности. Пер. с англ. / Д. Вудраф, Т. Делчар. – М.: Мир, 1989. – 564 с. 2. Царев Б. М. Контактная разность потенциалов / Царев Б. М. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 280 с. 3. Компанеец И. В. Физические основы конденсаторных методов измерения контактной разности потенциалов / И. В. Компанеец // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение», 2009. – № 23. - С. 89-95. 4. Компанеец И. В. Оценка чувствительности измерителя контактной разности потенциалов / И. В. Компанеец, В. М. Комолов, А. М. Шкілько // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Новые решения в современных технологиях», 2010. – № 46. - С. 89-94. 5. Компанієць І. В. Вимірювач контактної різниці потенціалів / І. В. Компанієць, А. М. Шкілько // Метрологія та прилади. – 2010. – №4. – С. 33-36.

*Поступила в редколлегию 25.11.2010*

**УДК 539.3: 519.876.5**

**А.М. МИЛЬЦЫН**, канд. техн. наук, профессор, начальник отдела ТД Днепропетровского завода сварочных материалов, г. Днепропетровск  
**Д.Г. ЗЕЛЕНЦОВ**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор, Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепропетровск  
**В.И. ОЛЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепропетровск

## **СЕЛЕКЦИЯ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ПО СОВОКУПНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ**

Предложено использование физически обоснованных критериев селекции наилучшей многофакторной регрессионной модели, обеспечивающих ее работоспособность в области эксперимента и при экстраполяции. Продемонстрирована эффективность такого подхода.

Ключевые слова: модель, селекция, критерии

Запропоновано використання фізично обґрунтованих критеріїв селекції найкращої багатофакторної регресійної моделі, що забезпечують її працездатність в області експерименту і при екстраполяції. Продемонстровано ефективність такого підходу.

Ключові слова: модель, селекция, критерії

The use of physically based criteria of selection of best multifactor regression model is proposed to ensure its serviceability in the experiment field and for extrapolation. The effectiveness of this approach is demonstrated.

Keywords: model, selection, criteria